

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS



IMPACTO DEL ENFRIAMIENTO DE VACAS HOLSTEIN

DURANTE EL PERIODO SECO EN VARIABLES

FISIOLÓGICAS PREPARTO Y PRODUCTIVAS

POSPARTO EN VERANO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

BRISA GUADALUPE LINDQUIST FUENTES

DIRECTOR DE TESIS:

Ph.D. LEONEL AVENDAÑO REYES

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del consejo particular, ha sido aprobada y aceptada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

Ejido Nuevo León, B. C., Agosto de 2022

Consejo particular

Dr. Leonel Avendaño Reyes

Director de tesis

Dr. Ulises Macías Cruz

Sinodal

Dra. Vielka Jeanethe Castañeda Bustos

Sinodal

INDICE

Sección	Página
AGRADECIMIENTOS.....	1
DEDICATORIA.....	2
LISTA DE CUADROS.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
1 INTRODUCCIÓN.....	6
2 ANTECEDENTES.....	7
2.1 Cambio climático y la ganadería lechera.....	7
2.2 Zona térmica neutral en ganado lechero	8
2.3 Estrés calórico.....	9
2.4 Termorregulación en ganado lechero.....	10
2.5 Secado de la vaca lechera.....	11
2.6 Importancia del periodo seco.....	12
2.7 Protección ambiental vs. estrés calórico en establos lecheros.....	13
2.7.1 Uso de sombras.....	13
2.7.2 Uso de sistemas de enfriamiento.....	14
2.8 Estrés calórico en el periodo seco.....	14
3 JUSTIFICACIÓN	15
4 HIPÓTESIS.....	16
5 OBJETIVOS.....	16
5.1 Objetivo general.....	16
5.2 Objetivos particulares.....	16
6 MÉTODOS	16
6.1 Ubicación del estudio.....	16
6.2 Manejo de las vacas y tratamientos.....	17
6.3 Colección de variables respuesta en parto.....	18

6.4 Colección de variables respuesta en posparto.....	18
6.5 Colección y manejo de variables climáticas.....	19
6.6 Análisis estadístico.....	19
7 RESULTADOS.....	20
8 DISCUSIÓN.....	25
8.1 Variables climáticas.....	25
8.2 Variables fisiológicas.....	25
8.3 Variables productivas.....	27
8.4 Variables reproductivas.....	29
9 CONCLUSIONES.....	30
10 BIBLIOGRAFÍA.....	31

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Unidad Educativa del Instituto de Ciencias Agrícolas, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

De igual manera mis agradecimientos a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Al programa de apoyos CONACYT-UCMEXUS Faculty Fellowship, por su apoyo durante el análisis del presente estudio.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Peter H. Robinson, de UC Davis, por su apoyo en la consecución de recursos y en los comentarios hechos al presente documento.

Al Cuerpo Académico Fisiología y Genética Animal del Instituto de Ciencias Agrícolas, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de tesis en las instalaciones del mismo Instituto.

Al Sistema Nacional de Investigadores, por el apoyo de beca de investigación obtenido a través del investigador Dr. Leonel Avendaño Reyes.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Dr. Leonel Avendaño Reyes, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIAS

A mis Padres

El esfuerzo y las metas alcanzadas, refleja la dedicación, el amor que invierten sus padres en sus hijos. Gracias a mis padres son quien soy, orgullosamente y con la cara muy en alto agradezco a Héctor Lindquist Piccini y Elizabeth Fuentes Almaraz, mi mayor inspiración, gracias a mis padres he concluido con mi mayor meta.

A mi esposo

En el camino encuentras personas que iluminan tu vida, que con su apoyo alcanzas de mejor manera tus metas, a través de sus consejos, de su amor, y paciencia me ayudo a concluir esta meta Ricardo Vélez Estrada.

Leonel Avendaño Reyes

Más que un tutor y asesor de tesis, un gran amigo, los docentes son un pilar fundamental para tu aprendizaje. Agradezco a mi director de tesis, quien con sus conocimientos y su gran trayectoria, ha logrado en mí culminar mis estudios con éxito.

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
Cuadro 1	Ingredientes y composición química de la dieta integral basal suministrada en el parto y en el posparto durante el estudio	22
Cuadro 2	Promedios mensuales de temperatura (promedio, máximas y mínimas en °C), e índice de temperatura y humedad (unidades) de mayo a septiembre por año.....	23
Cuadro 3	Promedios de variables fisiológicas y productivas pre y posparto en vacas Holstein enfriadas y no enfriadas durante el periodo seco.....	24

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 1	Efecto del enfriamiento de vacas Holstein en el parto sobre la producción de leche, grasa y energía en leche.....	25

RESUMEN

Se condujeron dos experimentos para determinar si el enfriamiento de vacas Holstein durante el periodo seco mejora su estado fisiológico en el parto y el desempeño productivo posparto. Se usaron 28 vacas Holstein en dos veranos consecutivos ($n_1=12$ y $n_2=16$, respectivamente) que se dividieron en dos corrales sujetos a dos tratamientos: 1) con sombra y sin enfriamiento y 2) con sombra y enfriamiento (abanicos y aspersores). En parto se midió frecuencia respiratoria (FR) y temperatura rectal (TR) en tres horarios (10:00, 14:00 y 18:00 h) y en posparto se midieron parámetros productivos y reproductivos. El modelo estadístico incluyó los efectos año, tratamiento y semana, así como sus interacciones. Las vacas enfriadas tuvieron menor ($P<0.05$) FR y TR en el parto a las 14:00 y 18:00 h que vacas sin enfriamiento. La producción de leche y grasa, así como la energía en leche, fueron mayores ($P<0.05$) en el grupo enfriado conforme las semanas avanzaron (semanas 5 a la 8). El peso de las crías al nacimiento tendió a ser mayor ($P=0.10$) en el grupo enfriado, mientras que servicios por concepción y días abiertos fueron mayores ($P<0.05$) en el grupo sin enfriamiento. Las crías de vacas enfriadas fueron significativamente ($P<0.05$) más pesadas (37.91 kg) que crías de vacas no enfriadas (33.72 kg). Enfriar vacas lecheras Holstein con aspersores y abanicos durante 60 d parto mejoró la fisiología parto y la producción de leche, así como el peso al nacimiento de sus crías.

Palabras clave: Periodo seco, ganado lechero, estrés calórico, producción de leche.

ABSTRACT

Two experiments were conducted to determine if cooling Holstein cows during the dry period improves their physiological state before calving and their postpartum productive performance. Twenty-eight Holstein cows were used in two consecutive summers ($n_1=12$ and $n_2=16$, respectively) and were divided in two pens subjected to two treatments: 1) shade and no cooling, and 2) fan-based cooling and sprinklers under the shade. In the prepartum, respiratory frequency (RF) and rectal temperature (RT) were measured three times (10:00, 14:00 and 18:00 h); and productive and reproductive parameters during the postpartum were measured. The statistical model included year, treatment and week effects, as well as their interactions. Cooled cows had lower ($P<0.05$) RF and RT during the prepartum at 14:00 and 18:00 h than control cows. Milk production and fat in milk, as well as energy in milk were higher ($P<0.05$) in the cooled group as the weeks progressed (week 5 to 8). Calf birth weight tended to be higher ($P=0.10$) in cooled cows, while services per conception and days open were higher ($P<0.05$) in control cows. Cooling cows with spray and fans for 60 d prepartum improved prepartum physiology, and during the postpartum improved milk yield and calf birth weight in Holstein dairy cows.

Keywords: Dry period, dairy cattle, heat stress, milk production.

1. INTRODUCCIÓN

Las altas temperaturas junto con la elevada humedad relativa del ambiente, comunes durante verano en la mayor parte de las cuencas lecheras de México, rebasan con frecuencia la capacidad de los mecanismos de termorregulación normales de los animales para disipar el calor, provocando condiciones de estrés calórico (EC) que afectan su homeostasis; debido a esto, se disminuye el consumo de alimento, lo que ocasiona baja producción láctea y eficiencia reproductiva (Theusme et al., 2020). Si a esto se le suma que el cambio climático ha provocado un aumento en la temperatura ambiental mundial de 1°C desde el año 1800, y que se pronostica un incremento de 1.5 °C por año entre el 2030 y 2050; resulta de vital importancia tomar medidas de manejo ambiental para reducir el efecto del clima cálido sobre la productividad del ganado (IPCC, 2021).

Tradicionalmente, el periodo seco de la vaca ha tenido menor importancia que cualquier otra etapa del ciclo productivo del ganado lechero. Sin embargo, el periodo seco es en realidad un periodo crítico en la longevidad de las vacas, ya que incluye el inicio de importantes procesos fisiológicos que facilitarán lograr un periodo de transición libre de problemas desde la etapa gestante hasta la etapa productiva, lo que conduce a una mejor salud de la vaca y de su cría, así como un mejor desempeño productivo posparto. Dentro de estos eventos fisiológicos se encuentran la regeneración del tejido mamario, el crecimiento fetal, la producción de calostro, así como un buen desarrollo y maduración de los folículos para el próximo ciclo reproductivo (Chebel et al., 2018; Beam and Butler, 1999; Gulay et al., 2003).

Debido a estos cambios fisiológicos que tienen lugar en el periodo seco y a su impacto en la productividad posparto, las vacas secas deben contar con protección contra condiciones ambientales adversas (Beam and Butler, 1999). Las vacas expuestas a clima cálido reducen su consumo de alimento, producción de leche y desempeño reproductivo, problemas serios que conducen

a la estacionalidad en la producción de leche y como consecuencia, pérdidas económicas importantes para la industria lechera (Becker et al., 2020).

En México, esta situación es particularmente común en la zona norte donde las temperaturas en verano rebasan los 40°C, por lo que las vacas lecheras experimentan EC por periodos prolongados (Avendaño-Reyes et al., 2021). Los efectos de las altas temperaturas en la productividad del ganado lechero están bien documentados en vacas lecheras lactando, mientras que en vacas secas la información es limitada. En este sentido, la aplicación de estrategias de mitigación del EC en el periodo seco resulta crucial para mejorar el confort y productividad pre- y postparto en ganado lechero. Un estudio previo consistió en mojar las vacas totalmente con manguera dos veces por día durante los 60 días previos al parto, resultando que es necesaria la presencia de ventilación forzada es necesaria para que se produzca el efecto de pérdida de calor por evaporación en vacas estresadas por calor (Avendaño-Reyes et al., 2012). Por tanto, en condiciones cálidas y con bajo nivel de humedad, como sucede en zonas desérticas, se sugiere utilizar la combinación de aspersion de agua con ventilación para mitigar los efectos negativos del estrés calórico, aunque se requiere investigación que fundamente esta recomendación para la región noroeste del país. La zona bajo estudio pertenece al ecosistema desértico, por lo que resulta esencial experimentar esta tecnología bajo estas condiciones climáticas.

2. ANTECEDENTES

2.1. Cambio climático y la ganadería lechera

De acuerdo a recientes predicciones realizadas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, la temperatura ambiental en el mundo durante los próximos 30 años experimentará un aumento de entre 1 y 2°C; esta aseveración se basa en datos ambientales históricos, así como en estimaciones recientes sobre la emisión de gases de efecto invernadero. En consecuencia, este calentamiento global provocará en regiones cálidas un

mayor número de olas de calor, temporadas de veranos intensos más largas e inviernos más cortos, lo que inducirá a un calor extremo que alcanzará más fácilmente los umbrales de tolerancia crítica en la producción animal (IPCC, 2021).

El clima o microclimas presentes en cada región inciden directamente sobre la actividad ganadera, ya que la temperatura ambiental, la humedad relativa, la radiación solar y la precipitación diaria actúan sobre la fisiología (Berman, 2011) y el desempeño productivo del ganado lechero (WingChing-Jones et al., 2008); o indirectamente al modificar la producción (Pezzopane et al., 2016) y calidad del forraje (Sánchez et al., 2000); las poblaciones parasitarias (Jiménez et al., 2007); el microambiente de los establecimientos de resguardo, el almacenamiento de alimentos y el proceso de comercialización de los productos (Retana, 2015). El valle de Mexicali se ubica en la región noroeste de México, región que pertenece al Desierto Sonorense, con un clima árido y seco donde la temperatura sobrepasa los 50° C en verano (Ruiz et al., 2006). En esta región árida se ha pronosticado, mediante el uso de modelos de predicción con series de tiempo, un aumento en la temperatura máxima entre 2 y 3° C para el año 2100 (García-Cueto et al., 2013). Esta información sugiere que las explotaciones pecuarias, en especial las dedicadas a la producción de leche, deben tomar medidas sobre manejo ambiental a corto plazo para mitigar los efectos negativos, directos o indirectos, del estrés térmico en la productividad del ganado.

2.2. Zona térmica neutral en ganado lechero

Bligh y Johnson (1973) definen a la zona térmica neutral o zona termoneutral como el rango de temperatura ambiental en la cual la tasa metabólica es mínima y la regulación de la temperatura corporal se alcanza por medios no evaporativos, es decir, sin necesidad de ajustar mecanismos fisiológicos compensatorios ni incrementar su temperatura corporal, y es dentro de este rango donde el animal puede expresar su máximo potencial productivo. Sin embargo, los rangos de temperatura ambiente que delimitan la zona termoneutral dependen de diversos factores como edad, raza, dieta y nivel de

producción de los animales. Fuquay (1981) menciona que cuando la temperatura del aire se incrementa por encima de la temperatura crítica superior, la temperatura corporal se incrementa gradualmente, y la ingesta de alimento y la producción de leche declinan; en vacas lecheras lactantes la zona termoneutral se ha establecido entre -15 y 25°C, mientras que para la vaca seca es entre -14 y 25°C (Collier and Zimbelman, 2007).

Cuando el ganado lechero es expuesto a condiciones climáticas fuera de su zona termoneutral, deben gastar energía para poder mantener su temperatura corporal. La temperatura ambiental debe estar siempre por debajo de la temperatura crítica superior, para que este gradiente térmico permita disipar el calor del organismo del animal usando las rutas sensibles de pérdida de calor llamadas convección, radiación y conducción. Por otro lado, cuando la temperatura ambiente excede de la temperatura corporal del animal, las rutas mencionadas de pérdida de calor ya no son efectivas, por lo que las únicas rutas restantes para perder calor son las evaporativas (la sudoración y el jadeo), que requieren un gradiente de vapor de presión y establecen que la humedad relativa es el factor más importante en determinar la tasa de pérdida de calor por evaporación (Collier and Gebremedhin, 2015).

2.3. Estrés calórico

El estrés térmico se define como una condición ambiental que provoca un estado de malestar o tensión en el animal; cuando esta condición ambiental es provocada por valores elevados de parámetros climáticos como temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar, el estrés se considera por calor o estrés calórico (EC; Yousef, 1985). Este descontrol debido a la tensión por el calor ocasiona una situación adversa al confort del animal que lo conduce a un desequilibrio de diversas constantes fisiológicas. Armstrong (1994) señala que el EC ocurre cuando se afecta la zona de confort de la vaca porque la temperatura efectiva sobrepasa la zona termoneutral. En condiciones de EC, los factores ambientales, individualmente o en combinación, resultan ser una carga difícil de

disipar; es entonces cuando el término carga calórica puede ser un término adecuado (Gaughan et al., 1998).

La condición de EC puede ocurrir en cualquier fase del ciclo productivo de la vaca lechera, afectando negativamente los parámetros de interés en cada una de ellas. El problema del EC recae también en la eficiencia reproductiva del hato, ya que provoca una disminución considerable de la fertilidad. Se ha notado una caída en el porcentaje de la tasa de concepción por diversos efectos que ocasiona el EC, pero principalmente se han mencionado la alteración del ciclo estral y muerte embrionaria (Edwards and Hansen, 1977). Entre los eventos fisiológicos desencadenados por el EC se incluyen el aumento de la temperatura rectal, la frecuencia respiratoria y el jadeo, que se manifiestan para buscar mantener la temperatura corporal dentro del rango normal (Pragna et al., 2017). Estos cambios conllevan una alteración en el patrón de alimentación y función del rumen, con reducción de la ingesta de materia seca y, por consiguiente, de la productividad. El motivo de la reducción en la producción de leche es el balance energético negativo, ya que el animal intenta mantener la homeostasis para evitar la hipertermia. El EC también puede tener impacto negativo sobre la salud de la ubre, lo que en última instancia también conduce a la disminución de la leche (Pragna et al., 2017).

2.4. Termorregulación en ganado lechero

La termorregulación es un proceso neuronal que vincula la información del ambiente interno y externo con una respuesta eferente adecuada para permitir al animal mantener un ambiente interno estable en relación a un ambiente externo variable (Nakamura and Morrison, 2008). Esta respuesta eferente incluye distintos mecanismos fisiológicos como son la vasoconstricción y el crecimiento, o no, del pelo, pero también se enlazan con mecanismos celulares regulando la actividad del sistema endocrino y el del metabolismo celular (Collier and Gebremedhin, 2015).

La respuesta sistémica al EC se conduce por dos sistemas: el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico, que incluye el sistema endocrino. El primero incluye al hipotálamo y la base del encéfalo, que liberan a la hormona liberadora de corticotropinas y a la vasopresina, mientras que los componentes del segundo incluye el eje pituitario – adrenal, el sistema simpático adrenomedular eferente y el sistema parasimpático. La fase inicial de la respuesta al EC involucra un sistema de receptores en la parte periférica (termorreceptores en la piel y fotoreceptores en la retina) y receptores centrales en el hipotálamo, los cuales inician con las respuestas endocrinas a un ambiente cálido (Habib et al., 2001). Por tanto, el ganado lechero responde a la presencia del EC con distintos cambios fisiológicos y de conducta entre los que destacan: 1) reducción en el consumo de alimento, 2) incremento en el consumo de agua, 3) cambios en la tasa metabólica y de mantenimiento, 4) incremento en la pérdida de calor por medios evaporativos, 5) cambios en la concentración hormonal a nivel sanguíneo, 6) incremento en la temperatura corporal, 7) búsqueda de sombra y lugares frescos, 8) pasa menos tiempo descansando o echado, y 9) reduce su función inmune, entre otras (West et al., 2003).

2.5. Secado de la vaca lechera

De acuerdo a la curva de producción de leche de la vaca Holstein, ésta finaliza aproximadamente para el día 305 del ciclo productivo, en promedio. Por tanto, el secado de las vacas lecheras implica el final del periodo de la lactancia o de la fase de producción de leche. Generalmente, esta finalización de la producción de leche de la vaca se acompaña de diferentes eventos de manejo como son el cambio de corrales, cambio de la dieta y la aplicación de un tratamiento preventivo contra la mastitis para garantizar la salud de la ubre (Bath et al., 1984). Las vacas suelen resolver el problema que implica el secado mediante una disminución progresiva en la secreción de leche, hasta el punto en que deja de producirla por completo. Sin embargo, existen algunas vacas que son bastante persistentes en la producción de leche, por lo que es necesario dejar de ordeñarlas para que suspendan la secreción láctea. En cualquiera de

los casos en los que se trate de secar una vaca, es recomendable suspender parcial o completamente de la dieta alimenticia aquellos alimentos que estimulan la producción de leche; y si es necesario, se puede reducir la cantidad de agua de beber hasta que la vaca se seque. Estos cambios drásticos en la alimentación y en el agua no suelen ser necesarios, pero son aconsejables en algunos casos (Smith, 1962). Aparte de estos cambios en la alimentación, también se puede ordeñar irregularmente a la vaca omitiendo uno de los dos ordeños que se efectúan normalmente en el día durante unos días. Sin embargo, al efectuar el ordeño de la vaca que se desea secar, debe extraerse toda la leche. Una vez que la vaca empieza el proceso de secado, la ordeña se puede omitir un día y después, probablemente, dos días. La vaca estará segregando muy poca leche cuando se suspenda definitivamente el ordeño (Bath et al., 1984). Otro sistema que practican algunos ganaderos para secar a las vacas consiste en dejarlas de ordeñar por completo. Esto es especialmente acertado cuando la producción lechera es baja, no mayor de 9 L/d de leche. La ubre debe ordeñarse completamente y examinarla con cuidado para determinar si se encuentra en buenas condiciones físicas o si existe alguna infección (Drackley, 1999). Es importante señalar que al momento del secado la vaca se encuentra en su séptimo mes de gestación, lo que destaca la importancia de este periodo de descanso en preparación para la última fase de crecimiento de la cría y de preparación para su próximo parto. El proceso de secado de la vaca marca el inicio del periodo seco, un periodo que es esencial en el ciclo productivo de la vaca lechera.

2.6. Importancia del periodo seco

El periodo seco representa un periodo corto de descanso entre lactancias, donde su duración puede variar entre 7 a 9 semanas (entre 50 y 70 d). El tiempo de secado o descanso es esencial por varias razones, entre las que se encuentran: la salud de la vaca, la fase terminal de crecimiento del becerro y el estrés que vendrá en la próxima lactancia (Drackley, 1999).

Existen cuatro razones importantes para considerar el periodo seco en el manejo de un establo lechero. Primero, es el periodo donde la vaca se prepara para la próxima lactancia, asegurando que sus reservas de energía, proteína y minerales sean óptimas. Es bien sabido que durante las primeras 6 a 8 semanas de la lactancia la vaca no puede consumir el suficiente alimento para mantener una alta producción de leche, por lo tanto, la vaca tiene que movilizar sus reservas corporales para mantener dicha producción. Aunque las formas principales de estas reservas son las grasas y los minerales, también se menciona que podrían almacenar algunas vitaminas (Goff y Horst, 1997). La segunda razón, es porque la vaca tiene que incrementar sus reservas de energía y proteína para proporcionarlos a su cría que se encuentra en desarrollo. La tercera razón es porque permite la reparación, crecimiento y desarrollo del tejido secretor de leche en la ubre, proceso conocido como regeneración del sistema mamario (Gulay et al., 2003). Finalmente, los últimos 14 días del periodo seco es cuando el sistema digestivo de la vaca tiene que adaptarse a un cambio en la alimentación y pasar de un bajo a un alto plano nutricional (Drackley, 1999).

Bajo condiciones cálidas se ha propuesto el enfriamiento en vacas secas antes del parto, ya que se puede incrementar el peso de becerros al nacimiento, mejorar la calidad del calostro, reducir la incidencia de partos distócicos e incrementar la producción de leche posparto (Wolfenson et al., 1988; Nardone et al., 1997).

2.7. Protección ambiental contra estrés calórico en establos lecheros

Las explotaciones pecuarias ubicadas en zonas cálidas deben contar con protección contra la carga calórica que se genera por el hecho de explotar animales a la intemperie. Esto debido a las altas temperaturas que se alcanzan y que pueden durar gran parte del día, volviendo imposible disipar el calor acumulado durante las horas más calientes. En establos lecheros este tipo de manejo es esencial para evitar una caída dramática en parámetros productivos y reproductivos, llegando a caer la producción de leche hasta la mitad de lo que

producen las vacas en la temporada invernal (Anzures-Olvera et al., 2017). Se discutirán dos formas de mitigar el EC para ganado lechero, las sombras y los sistemas de enfriamiento.

2.7.1. Uso de sombras. La sombra es uno de los métodos más efectivos y económicos para reducir la carga de calor por radiación y con la cual es posible obtener de 40 a 60% de reducción en la misma (Ray, 1995). El material de las sombras juega un papel importante en el aislamiento de la cubierta de la misma. Como un medio natural, los árboles representan la sombra más efectiva para contrarrestar la carga calórica emitida por los rayos solares, ya que combinan la protección contra el sol evitando la radiación y la evaporación de la humedad que se crea en la piel, función que es llevada a cabo por las hojas (Armstrong, 1994). La sombra en el comedero y bebedero permite al animal contar con un mayor número de horas disponibles para comer y beber durante las horas más cálidas del día debido a que cuando se utilizan estas sombras se llega a producir una diferencia de hasta 10°C en la temperatura ambiente, lo que permite mejorar las condiciones ambientales en esa área (Román-Ponce et al., 1977). Los beneficios de proveer sombra a las vacas en el último trimestre de la gestación también han sido observados, el peso al nacimiento y la producción de leche son mayores en aquellos corrales que no las tienen (Collier et al., 1982).

2.7.2. Uso de sistemas de enfriamiento. Algunos métodos han sido usados por los productores lecheros para enfriar a la vaca durante el periodo de calor, pero el más común es el uso de agua en aspersores y abanicos para facilitar la evaporación por enfriamiento (Armstrong, 1994). Existen métodos para el enfriamiento que son menos caros pero que han mostrado deficiencias, como rociar agua, bañar a las vacas hasta empaparlas, y la utilización de estanques (Tomaszewski et al., 2005; Tarazon et al., 2004; Avendaño-Reyes et al., 2010). El uso de abanicos combinados con sistema de aspersores y sombras produce un efecto positivo cuando las temperaturas rebasan los 27°C, preferentemente en zonas cálidas y secas (Morrison, 1977). Esta modificación ambiental ha

demostrado incrementar la producción de leche en vacas Holstein durante el verano en diferentes regiones áridas del mundo con problemas de EC como por ejemplo, México (Correa et al., 2002), Israel (Flamenbaum et al., 1986, 1995), Estados Unidos (Collier et al., 2006) y Arabia Saudita (Al-Hassan et al., 2018).

2.8. Estrés calórico en el periodo seco

La presencia de EC durante el periodo seco ejerce una serie de afectaciones que se reflejan en el posparto de la vaca lechera (Amaral et al., 2009). Se ha observado que el EC en el preparto reduce los volúmenes de hormonas tiroideas y estrógenos placentarios, mientras que se incrementan las concentraciones de ácidos grasos no esterificados en sangre, lo cual puede alterar el crecimiento de la ubre y la placenta, la producción de leche y/o la liberación de nutrientes para el becerro neonato (Collier et al., 1982a; Tao et al., 2011). Moore et al. (1992) indicaron que el máximo nivel de grados-día que se presenta 60 d antes del parto impactó negativamente en la producción de leche y de grasa en leche en vacas Holstein durante los primeros 100 días de la lactancia. El máximo nivel de grados día fue la suma de grados donde la temperatura máxima sobrepasó los 32.2 °C durante el periodo seco. Collier et al. (1982b) reportaron que vacas lecheras expuestas al calor durante gestaciones tardías tuvieron partos con bajo pesos al nacimiento y produjeron menos leche que aquellas que no fueron expuestas a dichas condiciones; estos resultados se asociaron a una reducción de tiroxina, prolactina, crecimiento hormonal y volúmenes de glucocorticoides en sangre.

3. JUSTIFICACIÓN

En explotaciones lecheras ubicadas en zonas cálidas, es común que las vacas sean enfriadas hasta después del parto, al pasar de los corrales de partos a los corrales de producción. En consecuencia, estas vacas provienen de un periodo largo sin enfriamiento, pasando la etapa de preparación para su siguiente lactancia bajo un ambiente estresante. Recordando que en el periodo seco ocurren eventos fisiológicos esenciales para lograr una lactancia inicial con

mínimos problemas posparto, así como una nueva cría vigorosa y sana, es fundamental que se proporcione enfriamiento con abanicos y aspersores desde el periodo seco, evitando problemas de baja producción láctea posparto, presencia de trastornos metabólicos, baja eficiencia reproductiva y el nacimiento de una cría débil.

4. HIPÓTESIS

El enfriamiento con aspersores y abanicos durante el periodo seco (60 d antes del parto) en vacas Holstein reduce los indicadores de estrés calórico en el preparto, y mejora la secreción de leche, la eficiencia reproductiva y al peso de la cría al nacimiento.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de enfriar vacas lecheras Holstein con abanicos y aspersores durante el periodo seco sobre variables fisiológicas en el preparto, así como en algunas variables relacionadas con su desempeño productivo y reproductivo posparto bajo condiciones de altas temperaturas en una zona árida del noroeste de México.

5.2. Objetivos particulares

- 5.2.1. Determinar el efecto del enfriamiento con aspersores y abanicos durante el periodo seco en la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal de vacas Holstein en el preparto,
- 5.2.2. Determinar el efecto del enfriamiento con aspersores y abanicos durante el periodo seco en la producción de leche, producción de grasa y producción de energía en leche en el posparto,

- 5.2.3. Determinar el efecto del enfriamiento con aspersores y abanicos durante el periodo seco en los parámetros reproductivos días abiertos y servicios por concepción de vacas Holstein en el posparto.

6. MÉTODOS

6.1. Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en la Unidad Experimental Lechera del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), localizada 42 km al sureste de la capital Mexicali, Baja California, en el noroeste de México (latitud 114.6° y longitud 32.8°). Esta zona pertenece al ecosistema Desierto Sonorense, región árida ubicada en el noroeste de México y suroeste de Estados Unidos; registra temperaturas máximas de 51°C en verano y mínimas de -5°C en invierno, se encuentra a 12 msnm y presenta precipitación pluvial promedio anual de 85 mm (García, 1985). El estudio consistió en dos experimentos conducidos en veranos consecutivos.

6.2. Manejo de las vacas y tratamientos

Se seleccionaron 38 vacas multíparas Holstein (entre 2 y 4 partos) en dos veranos consecutivos programadas a parir de Agosto a Octubre, por lo que tendrían su periodo seco en los meses más calientes del verano (Junio, Julio, Agosto y Septiembre); las vacas fueron asignadas a dos tratamientos de acuerdo a su condición corporal (CC) 60 d antes de su fecha probable de parto: con y sin sistema de enfriamiento bajo la sombra. El enfriamiento consistió en la instalación de dos abanicos de 90 cm de diámetro con un anillo de 6 aspersores fijos alrededor de cada abanico, los cuales se operaron manualmente por un periodo de 8 h/d durante 60 d antes del parto. Cada abanico tenía un motor de ½ HP (115/230 voltios, trifásico) con una presión de agua de 17.58 cm³. Debido a que el sistema de enfriamiento era específico en el corral, existió la posibilidad de la confusión de tratamiento dentro de año, por lo que se decidió rotar el equipo cada año, quedando del corral 1 en el primer año y al corral 2 en el

segundo año Los dos grupos de vacas consumieron la misma ración, se les proporcionó agua limpia y fresca *ad libitum* y después del parto se condujeron a un corral de vacas frescas sin sistema de enfriamiento, donde recibieron una ración para vacas en lactación temprana, ambas de acuerdo a las recomendaciones de NRC (2001). Los ingredientes utilizados en la dieta y la composición química de la dieta integral basal suministrada en los periodos preparto y posparto durante el estudio se muestran en el Cuadro 1.

6.3. Colección de variables de respuesta en preparto

Durante el periodo seco se colectaron semanalmente las variables peso vivo (PV) y condición corporal (CC), mientras que las variables fisiológicas frecuencia respiratoria (FR) y temperatura rectal (TR) se colectaron tres veces (08:00, 13:00 y 18:00 h) los días martes y viernes de cada semana. La CC fue registrada por dos personas durante el estudio siguiendo la metodología descrita por Wildman et al. (1982), donde la condición 1 corresponde a una vaca muy flaca y la condición 5 a una vaca obesa. La FR se obtuvo contando los movimientos del costado de cada vaca durante 30 seg, multiplicando por dos el resultado para obtener el número de respiraciones por minuto, con el apoyo de un cronómetro y un contador manuales. Para la TR, las vacas se llevaron a los corrales de enfermería en donde fueron entrampadas para introducirles un termómetro digital durante un min para registrar la dicha temperatura.

6.4. Colección de variables de respuesta en posparto.

Dentro de un rango de 3 h después del parto, se colectó el peso de las crías al nacimiento (PCN) con una báscula de plataforma con capacidad de 400 kg (marca Torrey, modelo EQM-400/800, Monterrey, México). La producción de leche (PL) se midió semanalmente hasta la octava semana posparto usando pesadores de leche Waikato (Inter Ag, Hamilton, New Zealand) los días miércoles (pm) y jueves (am), por lo que la PL diaria fue la suma de ambos

ordeños. Se midió el porcentaje de grasa en la leche (PG) en un laboratorio estatal certificado no gubernamental (Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de Baja California, S.C.) siguiendo el método Gerber (IDF, 1991). Con la información de PL y PG se obtuvo la producción de energía en leche (PEL) semanalmente hasta la semana 8 posparto siguiendo la metodología propuesta por Tyrell y Reid (1965). Al final de la lactancia se obtuvo el número de servicios por concepción (SPC) y días abiertos (DA) del registro individual de cada vaca. Después del parto, una vaca del grupo testigo murió por golpe de calor y una vaca de cada tratamiento por problemas al parto, las cuales se eliminaron de la información posparto. Asimismo, de cada tratamiento una vaca parió mellizos, por lo que también se eliminaron del estudio.

6.5. Colección y manejo de variables climáticas

La información meteorológica se obtuvo de la Estación Climática Experimental del ICA-UABC ubicada a 300 m del sitio experimental. La temperatura (máxima, mínima y promedio), y humedad relativa (máxima, mínima y promedio) fueron registradas cada 30 min. Con estas variables climáticas se calculó el Índice Temperatura-Humedad (ITH) empleando la fórmula propuesta por Hahn (1999):

$$\text{ITH} = (0.81 \times \text{TA}) + \text{HR} (\text{TA} - 14.4) + 46.4$$

Dónde:

TA = Temperatura ambiente (°C),

HR = Humedad relativa (%).

6.6. Análisis estadístico

Las variables pre y posparto medidas a través del tiempo (PV, CC, FR, TR, PL, PG y PEL) se analizaron con mediciones repetidas utilizando los comandos REPEATED y RANDOM del procedimiento MIXED de SAS (2004). Para cada variable se probaron 5 estructuras de varianza-covarianza: covarianza sin estructura, simetría compuesta, autoregresiva de primer orden, simetría compuesta heterogénea y autoregresiva heterogénea de primer orden. Se

emplearon dos criterios de ajuste del modelo, el criterio de información de Akaike y el criterio de información Bayesiano (Littell et al., 1996). Se eligió a la estructura de varianza-covarianza autoregresiva de primer orden como la de mejor ajuste debido a que fue la que mostró valores más cercanos a cero en ambos criterios.

Los grados de libertad se ajustaron utilizando el método Kenward-Roger dentro del procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2004). El modelo lineal contuvo los factores número de lactancia (clasificado en 3 categorías: 2, 3 ó > 3), tratamiento (enfriadas y no enfriadas), tiempo (semanas preparto o posparto), la interacción tratamiento*tiempo y la interacción tratamiento*número de lactancia. Se designó al efecto vaca dentro de la interacción tratamiento*número de lactancia como efecto aleatorio. El modelo para analizar la variable PCN incluyó los efectos año, tratamiento, sexo de la cría, y como covariable la altura de la madre. Para las variables reproductivas, el modelo estadístico incluyó año, tratamiento y la interacción año*tratamiento. Se obtuvieron las medias ajustadas y sus errores estándar, declarándose una diferencia significativa cuando $P < 0.05$ y tendencia cuando $0.05 < P < 0.10$.

7. RESULTADOS

Las TA medias mensuales mínimas y máximas fueron 18.6 y 44.5 °C, (Cuadro 2), siendo Julio el mes en que se presentó la TA más alta en cada año. Los ITH's oscilaron entre 61.6 a 95.2 unidades, mientras que todos los meses tuvieron un promedio de ITH mayor a 75 unidades. Con excepción de 3 meses con TA promedio por debajo de 20°C, esta variable climática fue consistentemente superior a 30°C en cada mes del estudio.

La interacción tratamiento*tiempo no fue significativa ($P > 0.05$) en ninguna variable de respuesta preparto. Basado en factores principales, las vacas no enfriadas tuvieron mayor ($P < 0.05$) FR y TR que las vacas enfriadas durante el periodo seco en ambos horarios de la tarde (14:00 y 18:00 h), sin observar diferencias ($P > 0.05$) por la mañana, (10:00 h Cuadro 3). En el resto de las variables registradas en preparto (PV y CC), no se presentaron diferencias

($P>0.05$). En el periodo posparto, la interacción tratamiento*tiempo fue significativa ($P<0.05$) para PL, PG y PEL, por lo que a partir de la semana 5 posparto, estas variables mostraron diferencias entre tratamientos ($P<0.05$) (Figura 1), siendo superior en el grupo de vacas enfriadas, en promedio 2.5 kg de leche, 0.5% de grasa y 10 MJ/d para PL, PG y PEL, respectivamente. El promedio de PCN tendió a ser mayor ($P=0.10$) por 4 kg en vacas enfriadas sobre las no enfriadas. Finalmente, los parámetros reproductivos DA y SPC disminuyeron ($P<0.05$) por efecto del enfriamiento en casi 20 d y más de 0.5 servicios de concepción respectivamente.

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de la dieta integral basal suministrada en el preparto y en el posparto durante el estudio.

	Preparto	Posparto
<i>Ingredientes (g/kg material húmeda)</i>		
Heno de alfalfa	650	450
Grano de trigo	150	300
Paja de trigo	150	65
Wheat bran	30	150
Premezcla vitaminas/minerales ^a	20	35
<i>Composición Química^b (g/kg)</i>		
Materia seca	933.4	933.4
Proteína cruda	157.7	183.8
Grasa (extracto etéreo)	12.2	42.3
Ceniza	101	113
FDN ^c	434	336
CNF ^d	295	325

^a Premezcla de vitaminas y minerales: 310 g/kg carbonato de calcio; 180 g/kg óxido de magnesio; 390 g/kg fosfato dicálcico; 120 g/kg sal.

^b Calculado de dos muestreos por año.

^c FDN= Fibra detergente neutra.

^d CNF= Carbohidratos no fibrosos, CNF= (g/kg) = [1000 – (cenizas + PC + FDN + grasa)].

Cuadro 2. Promedios mensuales de temperatura (promedio, máximas y mínimas en °C), e ITH's (unidades) de mayo a septiembre por año.

Mes	Año	Mínima diaria		Máxima diaria		Promedio	
		TA	ITH	TA	ITH	TA	ITH
Mayo	2001	19.0	63.2	39.0	88.4	30.2	77.3
	2002	20.4	64.0	40.6	88.7	30.5	77.6
	2003	21.2	64.5	41.4	90.0	30.8	78.0
Junio	2001	24.5	65.2	41.8	92.7	33.3	78.8
	2002	23.7	65.7	42.3	93.6	33.0	79.4
	2003	23.0	66.0	42.6	94.0	32.4	79.6
Julio	2001	24.0	66.2	43.0	94.3	34.5	79.2
	2002	23.6	66.7	44.5	94.8	33.4	80.0
	2003	24.0	65.4	44.0	94.6	34.0	79.8
Ago	2001	22.4	67.7	43.3	95.0	34.8	81.1
	2002	22.8	65.5	43.0	94.8	34.6	80.7
	2003	23.0	65.8	42.8	95.2	33.4	82.0
Sept	2001	24.0	63.4	40.8	92.4	32.1	77.1
	2002	23.5	62.6	41.0	92.0	32.5	77.0
	2003	23.2	62.5	40.6	92.6	31.8	76.5

TA = Temperatura Ambiente

ITH = Índice Temperatura-Humedad

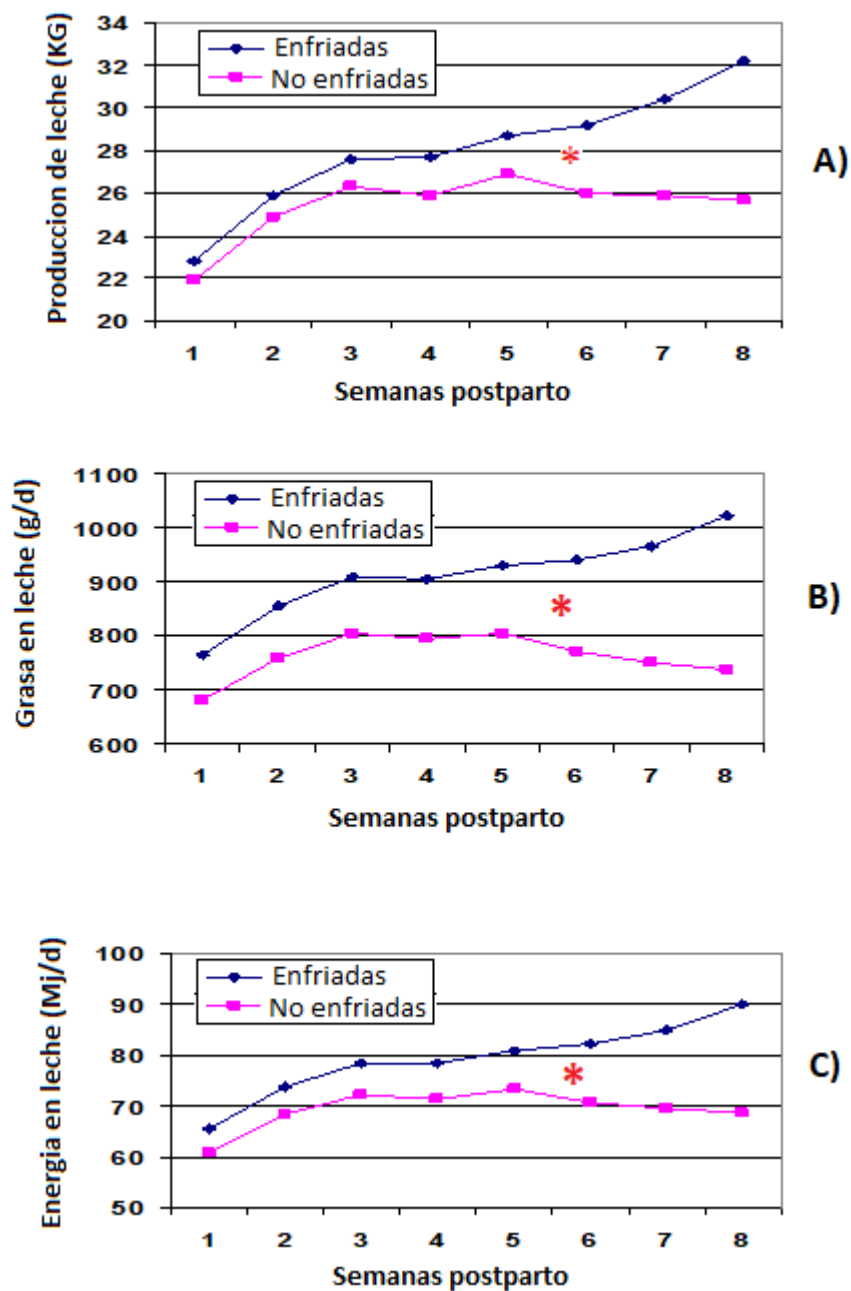
Ago= Agosto; Sept = Septiembre

Cuadro 3. Promedios de variables fisiológicas y productivas pre y posparto en vacas Holstein enfriadas y no enfriadas durante su periodo seco

	Tratamientos				Probabilidad de los efectos en el modelo.			
	Testigo	Enfriadas	E.E.M.	Trat	Año	Semana	Trat*Año	Trat*Semana
<i>Preparto</i>								
Condición Corporal	3.88	3.87	0.062	0.83	0.01	0.53	0.49	0.64
Temperatura Rectal (°C)								
10:00 h	38.88	38.77	0.014	0.16	0.33	<0.01	0.57	0.49
14:00 h	39.31	39.03	0.017	<0.01	0.79	<0.01	0.46	0.73
18:00 h	39.43	39.13	0.146	0.04	0.17	0.10	0.88	0.47
Frecuencia Respiratoria (rpm)								
10:00 h	69.5	63.4	3.34	0.14	0.01	0.06	0.74	0.85
14:00 h	73.8	67.2	3.21	<0.01	<0.01	0.07	0.42	0.68
18:00 h	79.8	69.0	5.26	0.05	0.03	0.88	0.66	0.52
<i>Productivas Posparto</i>								
Prod leche (kg/d)	25.44	28.05	1.689	0.13	0.28	<0.01	0.87	0.03
Grasa (%)	2.97	3.27	0.101	<0.01	0.95	<0.01	0.98	0.54
Grasa (g/d)	764	912	64.29	0.03	0.49	<0.01	0.85	<0.01
Energía en leche (MJ/kg)	2.72	2.83	0.001	<0.01	0.97	<0.01	1.00	0.09
Energía en leche (MJ/d)	69.4	79.3	5.04	0.05	0.36	<0.01	0.85	0.01
PCN ² (kg)	33.72	37.91	2.494	0.10	0.35	NIM	NIM	NIM
<i>Reproductivas posparto</i>								
Días abiertos	89.1	70.3	7.46	0.02	0.02	NIM	0.35	NIM
SPC ³	2.49	1.92	0.359	0.04	0.13	NIM	0.80	NIM

¹NIM= No incluida en el modelo estadístico.²PCN= peso de la cría al nacimiento. Además, sexo de la cría (P<0.03) y tamaño de la vaca (P<0.01) afectaron esta variable.³SPC = servicios por concepción.

Figura 1. Efecto de la interacción tratamiento*semanas posparto sobre la producción de leche (A), grasa (B) y energía en leche (C). *Diferencias significativas en semanas 6, 7 y 8 ($P<0.05$).



8. DISCUSIÓN

8.1. Variables climáticas

Armstrong (1994) señaló que la capacidad homeotérmica del ganado lechero comienza a comprometerse cuando el ITH supera las 72 unidades. Sin embargo, recientes estudios demuestran que la intensa selección para una alta producción láctea en vacas Holstein a través de los años, el calentamiento global y la intensificación en las unidades productivas, ha ocasionado que se presente EC a partir de 68 unidades de ITH, principalmente en vacas con alto nivel de producción (Polsky y von Keyserlingk, 2017). Por tanto, con base en los valores de ITH obtenidos en este estudio, las vacas fueron sometidas a condiciones estresantes (es decir, 75-78 unidades) y de estrés severo (es decir, >78 unidades) durante los dos veranos en los que se condujeron ambos experimentos (Silanikove, 2000). Julio y agosto fueron los meses donde se registró el más alto impacto del EC (ITH promedio ~ 80 unidades) en ambos años; y en junio y septiembre los valores de ITH estuvieron entre 75 y 80 unidades. Es importante señalar que en la gran mayoría de las publicaciones bibliográficas acerca de los efectos del EC sobre ganado lechero reportan TA e ITH menores a las observadas en esta región del noroeste México. Las condiciones climáticas observadas en el ecosistema del Desierto de Sonora, región árida y extremadamente seca, han sido reconocidas como de las más drásticas en cuanto a altas temperaturas se refiere, lo cual afecta en general la productividad de cualquier especie doméstica explotada al aire libre (Theusme et al., 2021; Zhao et al., 2021).

8.2. Variables fisiológicas

Es importante señalar que por la mañana (10:00 h), las variables fisiológicas FR y TR fueron similares en ambos grupos, lo cual pudo deberse a que la TA logró descender lo suficiente durante la noche y madrugada para permitir la pérdida de calor por radiación debido a ese refrescamiento

temporal nocturno. En este contexto, Müller et al. (1994) establecieron que, en condiciones de EC, es necesario un período de 3 a 6 h con TA por debajo de 21 °C para permitir que las vacas disipen el calor acumulado durante las horas más cálidas. Por el contrario, durante los horarios de la tarde (14:00 y 18:00 h), las dos variables fisiológicas mencionadas fueron mayores en el grupo sin enfriamiento.

El aumento de la TR y la FR son mecanismos naturales por los cuales las vacas disipan el calor de su cuerpo para mantener su temperatura en niveles dentro de lo normal bajo condiciones ambientales cálidas (Yousef , 1985). Si una vaca puede mantener su TR por debajo de 38.5°C se considera que tiene una temperatura corporal normal (Igono et al., 1992). El hecho de que las vacas enfriadas no tuvieran TR por debajo de este nivel, sugiere que la estrategia de enfriamiento empleada no fue una medida completamente efectiva para reducir los efectos del EC. Esto queda de manifiesto al observar que la TR de ambos grupos fue superior a 39°C, aunque las vacas enfriadas mantuvieron su TR más cerca de los 39°C que las vacas que no fueron enfriadas. En general, las respuestas fisiológicas preparto al calor ambiental intenso se redujeron mediante el uso de rociadores y ventiladores durante las horas más calurosas del día, lo que sugiere que el sistema de enfriamiento en este experimento fue efectivo parcialmente. En general, las vacas responden fisiológicamente positivamente al enfriamiento por evaporación que combina el movimiento del agua y el aire para disipar el calor corporal. Por lo tanto, además del agua, se vuelve necesaria la ventilación forzada para obtener un enfriamiento efectivo de las vacas en condiciones calurosas y secas (Hall et al., 1997; Bucklin and Bray, 1998). Karimi et al. (2015) sometieron a enfriamiento vacas Holstein en una zona desértica de Asia durante las últimas 3 semanas preparto obteniendo valores de FR y TR muy similares a los del presente estudio, con ventaja del grupo enfriado sobre el no enfriado.

8.3. Variables productivas

El grupo de vacas bajo el enfriamiento presentaron producción de leche y sus variables asociadas más elevadas que el grupo solo con sombra durante su periodo seco. En este contexto, la mejora en la producción posparto de leche, grasa en leche y energía en leche son indicativas de un remanente del enfriamiento preparto en el desempeño posparto. Estos resultados son consistentes con estudios en los que las sombras o el enfriamiento, utilizados durante el período seco, redujeron el estrés por calor de las vacas. Por ejemplo, Collier et al. (1982a) observaron un aumento en la producción de leche del 13.6% en vacas que recibieron sombra durante el período seco frente a vacas sin sombra. Del mismo modo, Wolfenson et al. (1988) informaron que las vacas enfriadas con aspersores y ventiladores durante el período seco produjeron 3.5 kg/día más de leche durante los primeros 150 días de lactancia en comparación con las vacas sin sistema de enfriamiento. Más recientemente, Karimi et al. (2015) enfriaron vacas Holstein 3 semanas antes del parto observando que produjeron 4 kg más de leche que su contraparte grupo sin enfriamiento. Sin embargo, en este estudio el enfriamiento continuó en el posparto, al mismo tiempo que se observó mayor consumo de alimento antes y después del parto.

La justificación fisiológica para mejorar la productividad posparto en respuesta al enfriamiento preparto no está del todo clara, pero se ha mencionado que el EC influye negativamente en la función secretora de la ubre al disminuir el flujo sanguíneo mamario, lo que reduce la eficiencia de la utilización de energía para la síntesis de leche y precursores de grasa en la leche (Kadzere et al. 2002). Flamenbaum et al. (1995) encontraron que una combinación de baja CC y EC durante el período seco redujo la producción de grasa en leche. Cuando se presentan condiciones de EC, la vaca lechera exhibe un mecanismo adaptativo inmediato que es la reducción en el

consumo de alimento; esto causa una disminución en la disponibilidad de nutrientes que pudieran ser utilizados para la síntesis de leche (Rhoads, 2009). Al mismo tiempo, existe un aumento en el metabolismo basal provocado por la activación del sistema regulador de la temperatura corporal; en este sentido, el EC severo puede incrementar los requerimientos metabólicos de mantenimiento hasta en 25%, lo cual agrava aún más el estrés metabólico ya existente y disminuyendo la producción de leche (Polsky et al., 2021). De la misma forma, procesos fisiológicos que ocurren durante el periodo seco de la vaca lechera como el crecimiento de la glándula mamaria y la renovación celular intramamaria son afectados por el EC y responsables de una baja producción de leche y de sus componentes (Tao y Dahl, 2013).

El peso al nacimiento de los terneros de vacas no enfriadas en su periodo seco en este estudio fueron 10 kg más bajos de lo que generalmente se considera un peso al nacimiento normal para becerros Holstein. Los pesos al nacer más altos son muy deseables, ya que los terneros de bajo peso al nacer son más propensos a la morbilidad y la mortalidad (Nardone et al., 1997). Por lo tanto, aunque el aumento en el peso al nacer de los terneros en vacas enfriadas fue solo una tendencia estadística, es un respaldo biológico de que enfriar vacas durante el período seco conduce a una mayor disponibilidad de nutrientes para el feto. Otros estudios han mostrado diferencias estadísticamente significativas, pero cuantitativamente más bajas que en el presente estudio. Por ejemplo, Collier et al. (1982) informaron que las vacas bajo sombra dieron a luz terneros 3.1 kg más pesados que las vacas sin sombra durante un período seco de verano (39.7 frente a 36.6 kg) y Wolfenson et al. (1988) utilizaron rociadores y ventiladores para enfriar vacas durante el período seco y reportaron RT más bajos y 2,6 kg más de peso al nacer de los terneros en comparación con los controles de solo sombra (43.2 vs 40.6 kg, respectivamente). Los PCN reportados en estos dos estudios son más altos que los encontrados en el presente estudio, lo

que sugiere fuertemente que existe un mayor beneficio potencial debido al enfriamiento. Durante el EC crónico, la disminución del peso de la placenta se relaciona con la reducción de la transferencia materno-fetal de oxígeno y glucosa y la disminución de la secreción de lactógeno placentario (Dreiling et al., 1991). El aumento del peso fetal está altamente correlacionado con el aumento del flujo sanguíneo placentario, que se ha demostrado que disminuye durante las condiciones de estrés por calor (Bell et al., 1989). Recientemente se ha demostrado que la presencia del EC durante la fase final de la gestación afecta negativamente el desarrollo de la placenta, lo cual puede conducir a hipoxia fetal, baja nutrición del feto, lo que se refleja en un retraso en el crecimiento del feto; esta disminución es la que se evalúa a través del peso al nacimiento de la cría (Tao y Dahl, 2013).

8.4. Variables reproductivas

La eficiencia reproductiva del ganado lechero es afectada durante periodos de EC en zonas áridas y tropicales por una amplia variedad de mecanismos que, en suma, conducen a un retraso en la concepción y, por ende, en la fertilidad de la vaca en producción (Jordan, 2003). No obstante el enfriamiento de vacas lactantes en el posparto ha sido efectivo para mejorar la fertilidad, la influencia del enfriamiento durante el período preparto sobre la fertilidad posparto del ganado lechero no está bien clara. Collier et al. (1982a) no encontraron diferencias en los días hasta el primer celo observado, DA o SPC en un grupo de vacas provistas de sombra, frente a un grupo sin sombra durante el preparto. Thompson y Dahl (2012) reportaron que las vacas que pasaron su periodo seco en verano (junio, julio y agosto), tuvieron mayor número de inseminaciones, días a primer servicio y días al diagnóstico de preñez durante los primeros 150 d en leche que las vacas que tuvieron su periodo seco en invierno (diciembre, enero y febrero). Otros estudios informaron mejoras en el rendimiento reproductivo cuando se aplicó

un sistema de enfriamiento en el posparto temprano, período en que las vacas se recuperan del parto y regresan a la actividad cíclica normal.

Una elevada temperatura ambiente afecta la capacidad de la vaca lechera Holstein para exhibir su conducta normal de apareamiento, dado que reduce la duración e intensidad del estro, lo cual a su vez es afectado por un bajo consumo de alimento y su consecuencia en la producción de hormonas reproductivas (De Rensis y Scaramuzzi, 2003). El efecto residual del EC durante la etapa preparto sobre la función uterina y el desarrollo del ovario al inicio de la lactancia fue estudiado por Lewis et al. (1984), encontrando que aunque el EC preparto fue asociado a una involución uterina rápida, a la aparición de cuerpos lúteos más pequeños y a un aumento en las concentraciones de prostaglandinas, no hubo efecto sobre los DA o SPC.

En el presente estudio, las vacas enfriadas comenzaron a presentar sus estros fértiles durante el período posparto temprano, es decir, a fines del otoño y principios del invierno, cuando la temperatura ambiental es mucho más baja que a principios del otoño. Esto es particularmente importante para los productores de leche en el valle de Mexicali, B.C., que normalmente dejan de inseminar vacas durante el verano debido a las condiciones calurosas, y necesitan una alta eficiencia de inseminación a principios del otoño, cuando las temperaturas ambientales descienden y reinician su programa de inseminación (Anzures-Olvera et al., 2019).

9. CONCLUSIONES

Las variables fisiológicas durante el periodo seco fueron mejoradas por el enfriamiento a base de aspersores y abanicos, lo que sugiere que fue es una estrategia de mitigación de EC efectiva en las vacas lecheras de preparto. La estrategia de mitigación del EC promovió efectos positivos de mediano y largo plazo posparto, como favoreció el aumento en la producción de leche y su contenido, de grasa y energía, asimismo el comportamiento reproductivo fue mejorado y tendió a incrementar el peso al nacimiento de las crías.

Por tanto, la aplicación de esta práctica de manejo puede mejorar los ingresos a los productores y ayudar a reducir la estacionalidad en la producción de leche en zonas afectadas por el estrés calórico.

10. Literatura Citada

- Anzures-Olvera, F., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F.D., Correa-Calderón, A., Díaz-Molina, R., Hernández-Rivera, J.A. & Avendaño-Reyes, L. (2015). Respuestas fisiológicas, producción de leche y capacidad antioxidante de vacas Holstein en invierno y verano en una zona árida. *Arch. Med. Vet.* 47, 15-20.
- Armstrong, D.V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77, 2044-2050.
- Armstrong, D.V., Smith J.F., Brouk M.J., Wuthironarith V., Harner J.P.III. (2004). Impact of soaking cows housed in a tunnel ventilated barn equipped with evaporative pads located in Thailand. *J. Dairy Sci.* 87(Suppl. 1), 300-301.
- Avendaño-Reyes, L., Álvarez, F.D., Correa-Calderón, A. Fadel, J., Robinson, P.H. (2008). Is soaking cows during dry period an effective management tool to reduce heat stress and improve postpartum productivity? *J. Applied Anim. Res.* 34, 97-100.
- Avendaño-Reyes, L., Álvarez-Valenzuela, F.D., Correa-Calderón, A., Algáandar-Sandoval, A., Rodríguez-González, E., Pérez-Velázquez, R., Macías-Cruz, U., Díaz-Molina, R., Robinson, P.H. & Fadel, J.G. (2010). Comparison of three cooling management systems to reduce heat stress in lactating Holstein cows during hot and dry ambient conditions. *Liv. Sci.* 132: 48-52.
- Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Macías-Cruz, U., García-Casillas, C.C., Mellado, M., Robinson, P.H., Hernández-Rivera, J.H. (2021). Impacts on two dairy breeds of adding a third (night) cooling event under extreme ambient heat. *Int. J. Biomet.* 65(8), 1443-1450.

- Barash, H., Silanikove, N., Shamay, A., Ezrat, E. (2001). Interrelationships among ambient temperature, day length and milk yield of lactating dairy cows under a Mediterranean climate. *J. Dairy Sci.* 84, 2314-2320.
- Bath, D., Dickinson, F., Tucker, H., Appleman, R. (1984). Ganado Lechero: Principios, Prácticas, Problemas y Beneficios. México: Editorial Interamericana, p. 336-344. México, D.F.
- Beam, S.W., Butler, W.W. 1999. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Reprod. Fertil.* 54, 411-424.
- Becker, C.A., Collier, R.J., Stone, A.E. 2020. Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103, 6751-6770.
- Bell, A.W., McBride, B.W., Slepatis, R., Early, R.J., Currie, W.B., 1989. Chronic heat stress and prenatal development in sheep I. Conceptus growth and maternal plasma hormones and metabolites. *J. Anim. Sci.* 67, 3289-3305.
- B.I.F., 1999. Guidelines for uniform beef improvement programs. 7th ed. Kansas State University, Kansas City: Beef Improvement Federation.
- Brouk, M.J., Harner, J.P., Smith, J.F., Hammond, A.K., Miller, W.F., Park, A.F., 2003. Effect of low-pressure soaking frequency and high-pressure misting on respiration rate, body surface temperature and body temperature of heat stressed dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86(Suppl. 1), 19.
- Brouk, M.J., Harner, J.P., Smith J.F., Miller, W.F., Cvetkovic, B., 2004. Response of heat stressed dairy cattle to low-pressure misting heat abatement systems. *J. Dairy Sci.* 87(Suppl. 1), 300.
- Capuco, A.V., Akers, R.M., Smith, J.J., 1997. Mammary growth in Holstein cows during the dry period: quantification of nucleic acids and histology. *J. Dairy Sci.* 80, 477-487.
- Collier, R.J., Doelger, S.G., Head, H.H., Thatcher, W.W., Wilcox, C.J., 1982a. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein

COWS.

J. Anim. Sci., 54, 309-319.

Collier, R.J., Beede, D.K., Thatcher, W.W., Israel, L.A., Wilcox, C.J., 1982b. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. J Dairy Sci. 65, 2213-2227.

Collier, R. J., and K. G. Gebremedhin. 2015. Thermal biology of domestic animals. Annu. Rev. Anim. Biosci. 3, 513–532.

Collier, R.J., Zimbelman, R.B. 2007. Heat stress effects on cattle: What we know and what we don't know. Proc: 22nd Annual Southwest Nutrition & Management Conference. Pp 76 – 83, Feb. 22 – 23, 2007. Tempe, AZ, USA.

Correa, C.A., Avendaño, L., Villanueva, A.R., Armstrong, D.V., Smith, J.F., Denise, S.K., 2002. Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico. Agrociencia. 36, 531-535.

Chebel, R. C., L. G. D. Mendonça, and P. S. Baruselli. 2018. Association between body condition score change during the dry period and postpartum health and performance. J. Dairy Sci. 101, 4595– 4614.

Chilove, T., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Vargas-Villamil, L., Mellado, M. 2020. Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. Sci. Total Env. 751, 141779.

De Rensis, F., Scaramuzzi, R. J. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow - review. Theriogenology, 60:1139–115.

Do Amaral, B.C., Connor, E.E., Tao, S., Hayen, M.J., Bubolz, J.W., Dahl, G.E., 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows J. Dairy Sci. 94, 86-96.

Drackley, J.K. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? J. Dairy Sci. 82, 2259-2273.

- Dreiling, C.E., Carman, F.S.III., Brown, D.E., 1991. Maternal endocrine and fetal metabolic responses to heat stress. *J Dairy Sci.* 74, 312-327.
- Flamenbaum, I., Wolfenson, D., Mamen, M., Berman, A., 1986. Cooling dairy cattle by a combination of sprinkling and forced ventilation and its implementation in the shelter system. *J. Dairy Sci.* 69, 3140-3147.
- Flamenbaum, I., Wolfenson, D., Kunz, P.L., Mamman, M., Berman, A., 1995. Interactions between body condition at calving and cooling of dairy cows during lactation in summer. *J. Dairy Sci.* 78, 2221-2229.
- García, E., 1985. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, 2a edición. México, D.F.
- García-Cueto, O.R., Santillan-Soto, N., Quintero-Núñez, M., Ojeda-Benítez, S., and Velazquez-Limon, N. (2013). Extreme temperature scenarios in Mexicali, Mexico under climate change conditions. *Atmósfera*, 26(4), 509-520.
- Goff, J.P., Horst, R.L., 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *J. Dairy Sci.* 77, 2044-2050.
- Gulay, M.S., M.J. Hayen, K.C. Backman, T. Belloso, M. Liboni, H.H. Head. 2003. Milk production and feed intake of Holstein cows given short (30-d) or normal (60-d) dry periods. *J. Dairy Sci.* 86, 2030-2038.
- Habib, K. E., P. W. Gold, and G. P. Chrousos. 2001. Neuroendocrinology of stress. *Endocrinol. Metab. Clin. North Am.* 30:695–728.
- Hahn, G.L., 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Dairy Sci.* 82:(Suppl 2), 10-20.
- Hansen PJ, Drost M, Rivera RM, Paula –Lopes FF, Al-Katanani YM, Krininger III CE, *et al.* Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. *Theriogenology*, 55, 91-103.

- Igono, M.O., Bjotvedt, G., Sanford-Crane, H.T., 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36, 77-87.
- Igono, M.O., Steevens, B.J., Shanklin, M.D., Johnson, H.D., 1985. Spray cooling effects on milk production, milk, and rectal temperatures of cows during a moderate summer season. *J. Dairy Sci.* 68, 979-989.
- International Dairy Federation, 1991. Milk and milk products: Fat content. General guidance on the use of butyrometric methods. FIL-IDF Stand. 52. Int. Dairy Fed., Brussels, Belgium.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Jordan, E.R., 2003. Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86, (E. Suppl.) E104-E114.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77, 59-91.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D., 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Monteiro, A.P.A., J.R. Guo, X.S. Weng, B.M. Ahmed, M.J. Hayen, G.E. Dahl, J.K. Bernard, and S. Tao. 2016. Effect of maternal heat stress during the dry period on growth and metabolism of calves. *J. Dairy Sci.* 99, 3896-3907.
- Moore, R.B., Fuquay, J.W., Drapala, W.J., 1992. Effect of late gestation heat stress on postpartum milk production and reproduction in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 75, 1877-1883.
- Muller, C.J.C., Botha, J.A., Coetzer, W.A., Smith, W.W., 1994. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 2. Physiological responses. *South Afric. J. Anim. Sci.* 24, 56-60.

- Nakamura, K., and S. F. Morrison. 2008. A thermosensory pathway that controls body temperature. *Nat. Neurosci.* 11, 62–71.
- Nardone, A., Lacetera, N., Bernabucci, U., Ronchi, B., 1997. Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period. *J. Dairy Sci.* 80, 1877-1882.
- National Research Council, 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, sixth ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC, USA.
- Polsky, L., von Keyserlingk, M.A.G., 2017. Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* 100, 8645-8657.
- Ruiz C., J. A., G. Díaz P., S. D. Guzmán R., G. Medina G., y M. M. Silva S. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Baja California (Período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRNO. Cd. Obregón, Sonora, México. 165 p.
- SAS Institute, 2009. SAS/STAT User's guide, Ver. 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Silanikove, N, 2000. Effect of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67, 1-18.
- Smith VR. 1962. Fisiología de la Lactación. 5ª ed. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., p. 163-221.
- Tarazon, M., Valenzuela, J., Araiza, S., Denogean, F., 2004. Productive and reproductive performance of bathed cows during the summer. *J. Dairy Sci.* 87(Suppl. 1), 375.
- Theusme, C., **L. Avendaño-Reyes**, U. Macías-Cruz, A. Correa-Calderón, M. Mellado, L. Vargas-Villamil, and A. Vicente-Pérez. 2021. Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. *J. Sci. Total Environ.*, 751:141779.
- Thompson, I.M., Dahl, G.E., 2012. Dry-period seasonal effects on the subsequent lactation. *Prof. Anim. Scient.* 28(6), 628-631.

- Tomaszewski, M.A., de Haan, M.A., Thompson, J.A., Jordan, E.R., 2005. The impact of cooling ponds in north central Texas on dairy farm performance. *J. Dairy Sci.* 88, 2281-2286.
- Tyrrell, H.F., Reid, J.T., 1965. Prediction of the energy values of cow's milk. *J. Dairy Sci.* 48, 1215-1223.
- West, J.W., Mullinix, B.G., Bernard, J.K. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cow. *J Dairy Sci.* 86, 232-242.
- Wildman, E.E., Jones, G.M., Wagner, P.E., Boman, R.L., Troutt, H.F., Lesch, T.N., 1982. A dairy cow body condition scoring system and it's relationship to selected production characteristics. *J. Dairy Sci.* 65, 495-501.
- Wolfenson, D., Flamenbaum, I., Berman, A., 1988. Dry period heat stress relief effects on prepartum progesterone, calf birth weight, and milk production. *J. Dairy Sci.* 71, 809-817.
- Yousef, M.K. (Ed.), 1985. *Stress Physiology in Livestock. Basic Principles*, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Zhao, Y., Norouzi H., Azarderakhsh, M., AghaKouchak, A., 2021. Global patterns of hottest, coldest and extreme diurnal variability on earth. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(9), 1-23.

